

(43)Date of publication of application : 31.01.2002

C23C 8/22

(72)Inventor: MATSUI KATSUYUKI
ANDOU HASHIRA

<http://www19.indl.ncini.gov.in/PA1/result/detail/main/wΔΔΔwbbzRRDA414030244D1.htm> 2/0/2007

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-30344

(P2002-30344A)

(43)公開日 平成14年1月31日(2002.1.31)

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	特許出願公開番号
C 2 1 D 9/32		C 2 1 D 9/32	A 4 K 0 2 8
B 2 4 C 1/10		B 2 4 C 1/10	D 4 K 0 4 2
			F
			G
C 2 1 D 1/06		C 2 1 D 1/06	A
審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 11 頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2000-223965(P2000-223965)	(71)出願人	000000170
(22)出願日	平成12年7月19日(2000.7.19)		いすゞ自動車株式会社
			東京都品川区南大井6丁目26番1号
		(72)発明者	松井 勝幸
			神奈川県川崎市川崎区殿町3丁目25番1号
			いすゞ自動車株式会社川崎工場内
		(72)発明者	安藤 柱
			神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5
		(74)代理人	100068021
			弁理士 梶谷 信雄
		Fターム(参考)	4K028 A4G1 AB01 AB06 AC03
			4K042 AA18 BA04 CA06 CA08 CA10
			DA01 DB01

(54)【発明の名称】 機械構造用合金鋼の表面改質方法及び表面改質材

(57)【要約】

【課題】 応力比が正の荷重条件の時の疲労強度に優れた機械構造用合金鋼の表面改質方法及び表面改質材を提供するものである。

【解決手段】 本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質方法は、機械構造用合金鋼の表面に真空浸炭処理を施した後、その表面に、1段目のショット粒径よりも2段目のショット粒径が小さい2段ショットピーニング処理を施し、機械構造用合金鋼の表面直下に、高い圧縮残留応力を導入すると共に、表面粗さを低下させたものである。また、2段ショットピーニング処理の前工程に、超急速・短時間の加熱急冷処理を施してもよい。

(3)

特開2002-30344

3

4

る。

【0013】以上の構成によれば、表面近傍の硬さが硬く、表面に異常組織が殆どなく、組織中の残留オーステナイト量が低く、かつ、表面に導入された圧縮残留応力が高い機械構造用合金鋼の表面改質材を得ることができる。

【0014】また、上記機械構造用合金鋼の化学成分が、C:0.15~0.25wt%、Mn:0.40~1.00wt%、Mo:0.15~0.60wt%、Cr:0.05~1.35wt%、Ni:0.05~2.00wt%、Si:0.03~0.35wt%、P:0.030wt%以下、S:0.030wt%以下、残部がFe及び不可避不純物であることが好ましい。

【0015】また、表面炭素濃度が0.7~0.9wt%であることが好ましい。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適一実施の形態を説明する。

【0017】本発明者らが鋭意研究した結果、応力比(R)が正の荷重条件の時には、以下に示すことが、疲労強度向上にとって重要であるということを見出した。

【0018】(1) 表面近傍の硬さ(HV)を可能な限り向上させる。

【0019】(2) (1)と共に、表面直下に大きな圧縮残留応力を導入する。

【0020】(3) 製造工程の第1段階(Stage I)におけるき裂伝播距離を短くし、降伏応力を大きくするために、可能な限り結晶粒径を小さくする。

【0021】以上、(1)~(3)に基づいて、R≥0の荷重条件の時、浸炭焼入処理を施した機械構造用合金鋼の疲労強度を向上させる方法を詳細に検討すると、以下の5つの項目、すなわち、

- ① 粒界酸化層等の表面異常組織生成の低減・防止、
- ② 結晶粒の微細化、
- ③ 残留オーステナイト(γ_r)量の低減、
- ④ 表面直下の高硬化、
- ⑤ 表面直下に大きな圧縮残留応力(好ましくは降伏応力に等しい圧縮残留応力)を導入、

が重要な因子となる。

【0022】尚、ここで用いる機械構造用合金鋼の定義は、合金鋼素材及びそれを用いた部材である。

【0023】まず、①を達成するためには、浸炭炉内の雰囲気中の低炭素分圧化が必要である。そのための浸炭処理法として、真空浸炭(Vacuum Carburizing(以下、VCと示す))を用いる。

【0024】次に、②を達成するためには、焼入れ時に、オーステナイト化温度への急速加熱や、急熱・急冷の繰返しが必要となる。それらを実現可能な焼入れ方法として、超急速・短時間の加熱急冷処理である輪郭高周

波焼入れ(Contour Induction Hardening(以下、CIHと示す))法が有用である。ここで、VC処理を施した機械構造用合金鋼に、CIH処理を施すことにより、硬さの向上と結晶粒の微細化を同時に達成することが可能となる。また、CIH処理により、機械構造用合金鋼の熱処理ひずみを低減させたり、表面直下に大きな圧縮残留応力を導入することができる。

【0025】次に、③~⑤を同時に達成する手段として、ショットピーニング法が挙げられる。特に、ダブルショットピーニング(Double Shot Peening(以下、DSPと示す))とし、かつ、2段目のピーニングに用いるショット粒径を1段目のピーニングに用いるショット粒径よりも小さい100μm以下とすることで、機械構造用合金鋼の疲労強度の向上の上で重要な、表面直下の残留応力分布や表面粗さを大幅に改善することができる。

【0026】以上を踏まえ、本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質方法は、先ず、機械構造用合金鋼(例えば、自動車用歯車)の表面に、表面炭素濃度狙い値が0.7~0.9wt%のVC処理を施す。

【0027】次に、VC処理後の機械構造用合金鋼の表面に、ショット粒径が400~800μmの1段目のショットピーニング処理およびショット粒径が100μm以下の2段目のショットピーニング処理を順次施すことで、表面改質処理がなされた機械構造用合金鋼(機械構造用合金鋼の表面改質材)が得られる。

【0028】ここで、機械構造用合金鋼としては、応力比が正の荷重条件の時に高い疲労強度が要求される合金鋼であればよく、特に限定するものではないが、好ましくは自動車用歯車鋼、一般的な肌焼鋼などが挙げられる。この自動車用歯車鋼としては、例えば、化学成分が、C:0.15~0.25wt%、好ましくは0.18~0.22wt%、より好ましくは0.20前後、Mn:0.40~1.00wt%、好ましくは0.80~0.90wt%、より好ましくは0.85前後、Mo:0.15~0.60wt%、好ましくは0.30~0.50wt%、より好ましくは0.40前後、Cr:0.05~1.35wt%、好ましくは0.08~0.12wt%、より好ましくは0.10前後、Ni:0.05~2.00wt%、好ましくは0.08~0.12wt%、より好ましくは0.10前後、Si:0.03~0.35wt%、好ましくは0.05~0.07wt%以下、残部がFe及び不可避不純物であるものが挙げられる。

【0029】また、VC処理の処理条件は、機械構造用合金鋼の表面改質材で許容される表面異常組織の量(又は表面異常組織層の深さ)に応じて適宜選択されるものであり、特に限定するものではない。

【0030】さらに、DSP処理の処理条件は、機械構

(4)

特開2002-30344

5

5

適用合金鋼の表面改質材に要求される殘留オーステナイト量、表面直下の硬さ、及び表面直下に導入される圧縮殘留応力の大きさに応じて適宜選択されるものであり、特に限定するものではない。ここで、2段目のショットピーニング処理のショット粒径を100 μm 以下に限定したのは、ショット粒径が100 μm を超えると、最大圧縮殘留応力の得られる表面からの深さは深くなるものの、表面粗さの改善（表面粗さをより小さくする）効果が望めなく（又は殆ど望めなく）なるためである。

【0031】本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質方法及び表面改質材によれば、機械構造用合金鋼の表面にVC処理を施すことで、疲労強度上有害な粒界酸化などの表面異常組織が生成しない（又は殆ど生成しない）。

【0032】また、VC処理後にDSP処理を施すことで、ピーニング効果により、(a) 機械構造用合金鋼の表面改質材の、表面から深さ100 μm 程度までの領域の殘留オーステナイト量が著しく減少し、(b) 機械構造用合金鋼の表面改質材の、表面部の最高硬さが1000HV以上の超高硬さとなり、(c) 機械構造用合金鋼の表面改質材の、表面直下に導入される最大圧縮殘留応力が1800MPa以上と極めて高くなると共に、最大の圧縮殘留応力値が表面に位置するようになる。ここで、(a) は、ピーニング時に加工誘起マルテンサイト変態が起こり、殘留オーステナイトがマルテンサイト化したためであり、(c) は、通常のダブルショットピーニングの効果と(a)の効果との重畳効果によるものである。

【0033】さらに、前述の(a)～(c)の効果により、本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質材は、応力比が正（例えば、 $R=0.1$ ）の荷重条件の時、疲労限が1800MPa以上となる。この値は、機械構造用合金鋼にVC処理のみを施した従来の表面改質材と比較すると、2倍以上の値である。この時、疲労限まで到達した（例えば、破断までのサイクル数が10⁷回の）機械構造用合金鋼の表面改質材の殘留応力を計測すると、表面の最大圧縮殘留応力は若干低下するものの、それでも1500MPa以上の極めて高い圧縮殘留応力が存在しており、また、内部の圧縮殘留応力分布は疲労試験の前後で殆ど変化していない。すなわち、本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質材は、優れた疲労強度を有している。

【0034】次に、他の実施の形態の機械構造用合金鋼の表面改質方法及び表面改質材について説明する。

【0035】本実施の形態に係る機械構造用合金鋼の表面改質方法は、先ず、機械構造用合金鋼（例えば、自動車用歯車）の表面に、表面炭素濃度値が0.7～0.9wt%のVC処理を施す。

【0036】次に、VC処理後の機械構造用合金鋼の表面に、超急速・短時間のCIH処理（加熱急冷処理）を施す。

【0037】その後、CIH処理後の機械構造用合金鋼の表面に、ショット粒径が400～800 μm の1段目のショットピーニング処理およびショット粒径が100 μm 以下の2段目のショットピーニング処理を順次施すことで、表面改質処理がなされた機械構造用合金鋼（機械構造用合金鋼の表面改質材）が得られる。

【0038】ここで、CIH処理の処理条件は、機械構造用合金鋼の表面改質材に要求される硬さ及び結晶粒度に応じて適宜選択されるものであり、特に限定するものではない。

【0039】本実施の形態に係る機械構造用合金鋼の表面改質方法及び表面改質材においても、本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質方法及び表面改質材と同様の作用効果を奏することは言うまでもない。

【0040】また、本実施の形態によれば、VC処理とDSP処理との間の工程で、CIH処理を施すことで、二次焼入効果によって、結晶粒径がより微細になるという新たな効果を発現する。これによって、機械構造用合金鋼の表面改質材の疲労限が更に高くなる（例えば、本発明に係る機械構造用合金鋼の表面改質材と比較して10%以上も高くなる）。

【0041】

【実施例】機械構造用合金鋼として、N₁およびMoの含有量を高くして視炭層を強硬化し、また、SiおよびCrの含有量を低くして表面異常層の低減を狙った高強度歯車用鋼（大同特殊鋼（株）製（以下、DSG1鋼と示す））を用いた。ここで、このDSG1鋼の化学成分組成は、Cが0.19wt%、Mnが0.84wt%、Moが0.4wt%、Crが0.107wt%、N₁が0.09wt%、Siが0.06wt%、Pが0.010wt%、およびSが0.019wt%であり、残部がFe及び不可避不純物である。

【0042】DSG1鋼からなる $\phi 80\text{mm}$ の棒鋼に、熱間鍛造加工を施して $\phi 130\text{mm}$ に形成した後、焼鈍処理を施し、ビッカース硬さが約200HVの棒鋼を作製した。この棒鋼に切削加工を施し、モジュールが3、歯数が36、右傾れ角度が17°、圧力角が14°30'、およびオーバーホール径が123.584mmの歯車を4つ作製した。各歯車に異なる表面改質処理を施し、それぞれ供試歯車1～4とした。

【0043】ここで、供試歯車1はVC（真空浸炭）処理のみを施したものの、供試歯車2はVC処理後にDSP（ダブルショットピーニング）処理を施したものの、供試歯車3はVC処理後にCIH（輪郭高周波焼入れ）処理を施したものの、供試歯車4はVC処理後にCIH処理を施し、その後、DSP処理を施したものである。

【0044】VC処理の加熱は誘導加熱により行うと共に、浸炭ガスとしてはプロパンガスを用い、炉内圧力は $6.67 \times 10^{-1} \text{ kPa}$ 、表面炭素濃度値は0.8wt%とした。また、視炭処理条件は、図1に示すよう

(5)

特開2002-30344

7

に、まず、1223Kで2880秒(48分)の浸炭処理を行った後、1173Kで60秒の1次浸炭処理を施し、窒素ガスによる冷却を行う。続いて、433Kで7200秒(2時間)の2次浸炭処理を施し、自然冷却を行った。

【0045】CIH処理は、図2に示すように、まず、周波数が3kHzの高周波を用い、1.5秒で925Kまで超急速・短時間の加熱を行った後、0.9秒放置し、その後、周波数が150kHzの高周波を用い、0.2秒で1137Kまで超急速・短時間の加熱を行い、スプレー焼入(spray hardening)を行う。続いて、周波数が3kHzの高周波を用い、0.5秒で483Kまで超急速・短時間の加熱を行った後、2.0秒放置し、その後、水冷を行う。

【0046】DSP処理における1段目のショットピーニングの条件は、空気圧が490kPa、ノズル径が10mm、ショット粒径が0.6mm、ショット硬度が約700HV、アークハイトが0.35mmCである。また、2段目のショットピーニングの条件は、空気圧が392kPa、ノズル径が4mm、ショット粒径が0.08mm、ショット硬度が約700HV、アークハイトが0.26mmNである。

【0047】(試験1)各供試歯車1~4の歯底R部をウィンドウ法でマスキングした後、所定の深さまで電解研磨し、残留オーステナイト(γ_r)量および残留応力(σ_r)の測定を行った。 γ_r 量は、マルテンサイトと γ_r のそれぞれの回折プロファイル面積比から求めた。

【0048】ここで、残留オーステナイト(γ_r)量および残留応力(σ_r)の測定装置としては、微小部X線測定装置を用いた。また、 γ_r 量および σ_r の測定部位は、曲げ疲労強度において特に重要な歯底フィレットR部の曲線方向とした。さらに、 γ_r 量および σ_r の測定には、X線としてCr-K α 線を用い、入射X線のビーム径は0.3mmとした。

【0049】(試験2)各供試歯車1~4について、疲労試験を行った。疲労試験方法としては、加圧用シャフト側の歯と固定用シャフト側の歯との間に荷重を負荷する2歯同時疲労試験を採用した。2歯同時疲労試験は、疲労限度まで到達する試験体数が2個であることから、信頼性が高い疲労試験方法である。予め、負荷歯の歯底R部の鈍角側端部に貼付けた歪みゲージ(ゲージ長は0.2mm)出力と荷重との関係を求めておき、この関係から歯元応力を評価した。負荷条件は、応力比($R = \sigma_{min}/\sigma_{max}$)を0.1と一定、周波数を10Hz、応力波形を正弦波とした。尚、歯車の疲労限度は、破断までのサイクル数を10'回とした時の繰返し応力とした。

【0050】まず、表面改質部の特性について評価を行う。

【0051】(1)表面粗さ

供試歯車1の表面粗さ(R_{a1})は6.0 μ mであっ

8

た。供試歯車2の R_{a2} は5.6 μ mであり、供試歯車1より若干小さな値であった。供試歯車3の R_{a3} は7.0 μ mであった。供試歯車4の R_{a4} は4.6 μ mであり、供試歯車3より小さな値であった。以上の結果から、供試歯車1, 3にDSP処理を施してなる供試歯車2, 4では、 R_{a} が改善されることがわかった。

【0052】(2)炭素濃度分布

各供試歯車1~4を構成するDSG1鋼と炭素濃度が略等しい機械構造用合金鋼材(SCM420H(JIS規格))からなる棒鋼(ϕ 25mm、長さ100mm)に機械加工を施し、炭素濃度分布測定用の試験片を作製した。また、炭素濃度測定方法には、JIS規格に準拠した赤外線吸収法を用いた。表面から深さ50 μ mの位置の炭素濃度は、0.77wt%であり、略目的炭素濃度となっていた。また、炭素濃度の計算結果と実測値とは略一致していた。

【0053】(3)焼入硬化層

供試歯車4の表面改質処理後の断面模式図を図3に示す。

【0054】図3に示すように、供試歯車4(図3中の31)の硬化層は、歯先部34から歯底部35に亘って略均一に浸炭されたVC層32と、二次焼入で生成したCIH層33で構成されている。ここで、CIH層33の層厚は、歯底部35と比較して歯先部34の方が厚くなっている。

【0055】(4)組織

供試歯車1, 3, 4の歯底R部の組織観察図を図4に示す。ここで、図4(a)~(c)は、それぞれ供試歯車1, 3, 4の観察図である。

【0056】供試歯車1の組織は、図4(a)に示すように、針状マルテンサイト+ γ_r であった。また、VC処理を施していることから、表面異常組織は観察されなかった。供試歯車3の組織は、図4(b)に示すように、極めて微細なラス状マルテンサイト+ γ_r であった。また、表面直下は、 γ_r 量が多いため、白っぽくなっていた。さらに、VC処理およびCIH処理の接合処理を施していることから、供試歯車1と同様に、表面異常組織は観察されなかった。供試歯車4の組織は、図4(c)に示すように、極めて微細なラス状マルテンサイト+ γ_r であった。表面直下には、供試歯車3のように γ_r は観察されず、また、塑性流動した痕跡が僅かに観察された。

【0057】(5)結晶粒度

供試歯車1, 3, 4の歯底R部の旧オーステナイト結晶粒度の観察図を図5に示す。ここで、図5(a)は供試歯車1の200倍の観察図を、図5(b), (c)は供試歯車3, 4の600倍の観察図を示している。尚、オーステナイト結晶粒度番号(N)は、JIS規格に準拠して求めた。

【0058】図5(a)~(c)に示す供試歯車1,